

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи
за темою

«Розрахунок однофазного мостового автономного інвертора напруги»
з дисциплін

«Промислова електроніка» та «Електроніка і мікросхемотехніка»

*(для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»,
6.050702 «Електромеханіка»)*

Харків – ХНУМГ – 2013

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи за темою «Розрахунок однофазного мостового автономного інвертора напруги» з дисциплін «Промислова електроніка», «Електроніка і мікросхемотехніка» (для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» та 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: А. Г. Сосков, Н. О. Сабалаєва, Ю. П. Колонтаєвський. – Х. : ХНУМГ, 2013. – 19 с.

Укладачі: д. т. н., проф. А. Г. Сосков,
к. т. н., доц. Н. О. Сабалаєва,
к. т. н., доц. Ю. П. Колонтаєвський

Рецензент: д.т.н., проф. В. Б. Фінкельштейн

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 3 від 10.10.2013 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ	5
1.1 Мета розрахунку	5
1.2 Теоретичні відомості, необхідні для виконання розрахунку	5
1.3 Вихідні дані	5
1.4 Зміст пояснювальної записки	5
1.5 Теоретичні пояснення	5
1.6 Приклад розрахунку однофазного мостового інвертора	7
1.7 Контрольні запитання	14
Список джерел.....	16
ДОДАТОК А	17

ВСТУП

Ці методичні вказівки містять інженерну методику розрахунку однофазного мостового автономного інвертора напруги та аналіз його роботи.

Результатом виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) повинен бути технічний документ – пояснювальна записка, що містить у собі мету роботи, завдання на виконання, власне розрахунок, та графічна частина, що являє собою схему електричну принципову розрахованого електронного пристрою.

РГР має сто варіантів, що дозволяє студентам виконувати одне завдання, але з різними вихідними даними залежно від номера залікової книжки студента.

Метою виконання цієї РГР є набуття навиків розрахунку однофазних автономних інверторів напруги та засвоєння принципів їхньої роботи та будови, набуття навичок вибору складових елементів інверторів з використанням при цьому довідкових даних і науково-технічної інформації.

На основі цієї РГР можуть бути сформовані завдання для курсової роботи відповідної тематики. Пропонується виконувати розрахунково-графічну роботу послідовно з оволодінням теоретичним матеріалом, що викладається у курсі дисциплін «Промислова електроніка» або «Електроніка і мікросхемотехніка».

Наведене завдання до РГР може бути застосовано також при проведенні практичних занять з дисципліни або при формуванні завдань для проведення контрольних робіт, поточного або підсумкового контролю.

Одержані в ході виконання РГР практичні навички повинні стати основою набуття вміння обґрунтованого складання технічних завдань на розробку автономних інверторів, грамотного користування при цьому науково-технічною та довідковою інформацією, раціонального вибору елементів схем електронного пристрою при вирішенні практичних прикладних задач у фаховій діяльності майбутнього спеціаліста.

1. РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ

1.1 Мета розрахунку

Метою цієї роботи є набуття навичок розрахунку автономних інверторів напруги, виконаних на повністю керованих напівпровідникових ключах.

1.2 Теоретичні відомості, необхідні для виконання розрахунку

Для виконання розрахунку необхідно знати принцип дії та основні параметри *IGBT*-модулів, а також принцип дії автономних інверторів напруги, виконаних на повністю керованих напівпровідникових ключах, та методику їхнього розрахунку (п.п. 2.5.5, 11.1.4 [1]).

1.3 Вихідні дані

- 1) U_M , В – напруга мережі живлення;
- 2) R_H , Ом – опір навантаження;
- 3) τ_H , с – постійна часу навантаження;
- 4) f , Гц – частота вихідної напруги;
- 5) $U_{ж}$ – напруга живлення схеми керування (± 10 В);
- 6) тип повністю керованого ключа – мостовий *IGBT*-модуль;
- 7) температура оточуючого середовища – $+ 40^\circ\text{C}$.

Таблиця 1 – Вихідні дані до розрахунку інвертора

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
	U_M , В	200	300	400	500	600	700	750	800	850	900
	R_H , Ом	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	16,0	17,0	20,0
	f , Гц	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	τ_H , с	$0,10 \frac{1}{f}$	$0,15 \frac{1}{f}$	$0,20 \frac{1}{f}$	$0,25 \frac{1}{f}$	$0,30 \frac{1}{f}$	$0,1 \frac{1}{f}$	$0,15 \frac{1}{f}$	$0,20 \frac{1}{f}$	$0,25 \frac{1}{f}$	$0,30 \frac{1}{f}$

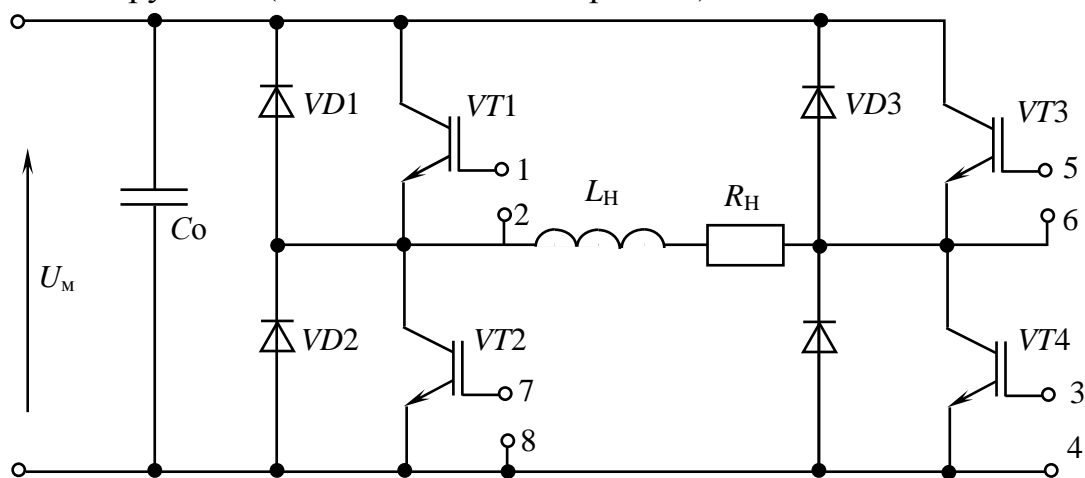
Приклад вибору вихідних даних для варіанта за номером залікової книжки 77732: зі стовпця 3: $f = 200$ Гц, $\tau_H = 0,25 \frac{1}{f}$; зі стовпця 2: $U_M = 400$ В, $R_H = 6$ Ом.

1. 4 Зміст пояснювальної записки (наведено у Додатку А)

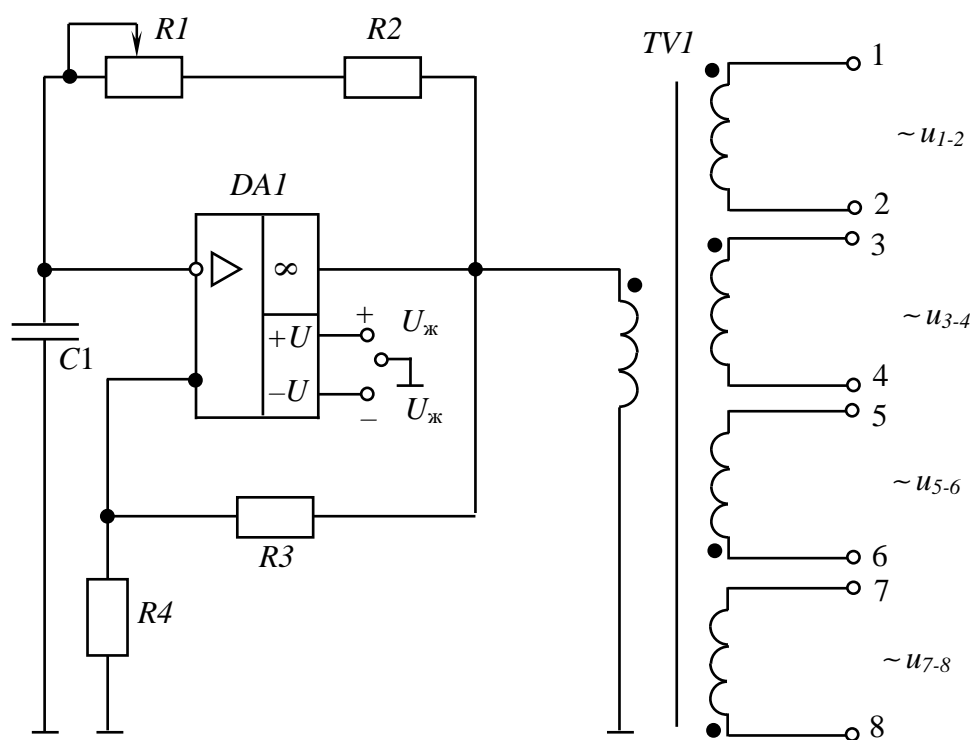
1. 5 Теоретичні пояснення

Для перетворення постійної напруги на змінну середньої або великої потужності в наш час застосовуються автономні інвертори напруги, виконані на повністю керованих напівпровідникових ключах.

На рис. 1, а наведена типова схема силової частини однофазного мостового автономного інвертора напруги, виконаного на *IGBT*-транзисторах, а на рис. 1, б його схема керування (один з можливих варіантів).



а)



б)

Рис. 1 – Однофазний мостовий інвертор напруги: силова частина (а), схема керування (б)

Перетворення постійної напруги на змінну здійснюється завдяки по черговому включенню пар напівпровідникових ключів: *VT1*, *VT4* і *VT2*, *VT3* за допомогою схеми керування, причому, якщо на входи однієї з пар ключів при надходженні позитивних (відпираючих) імпульсів напруги, то на входи другої пари ключів надходять негативні (запираючі) імпульси.

Схемою керування (рис. 1, б) є симетричний мультивібратор з трансформаторним виходом, що дозволяє подавати гальванічно незв'язані сигнали керування на всі чотири ключі інвертора. Цей мультивібратор виконаний на базі операційного підсилювача *DA1*, частота надходження його імпульсів визначається часозадаючим колом, що містить резистори *R1* і *R2*, конденсатор *C1* і ділльник напруги резистори *R3* і *R4*. Регулювання частоти здійснюється за допомогою резистора *R1*.

Часові діаграми, пояснюючі роботу інвертора, наведені на рис. 2.

1. 6 Приклад розрахунку однофазного мостового інвертора напруги

1.6.1 Вихідні дані:

- 1) напруга мережі живлення $U_M = 350$ В;
- 2) опір навантаження $R_H = 5,0$ Ом;
- 3) частота та період вихідної напруги $f = 200$ Гц, $T = 5 \cdot 10^{-3}$ с;
- 4) постійна часу навантаження $\tau_H = 0,4 \frac{1}{f}$;
- 5) напруга живлення схеми керування $U_{жс} = \pm 10$ В;
- 6) тип повністю керованого ключа – півмостовий *IGBT*-модуль.

1.6.2 Необхідно визначити:

- 1) режими роботи силової частини схеми (величини струмів в елементах та напруги на них);
- 2) тип і параметри напівпровідникового керованого ключа;
- 3) втрати потужності в силових ключах та ступінь їхнього перегріву;
- 4) параметри основних елементів схеми керування.

1.6.3 Порядок розрахунку

Визначимо значення струмів в елементах силової частини інвертора та напруги на них. Амплітудне значення струму через *IGBT*-транзистор і зворотний діод визначається за допомогою формули (11.23 [1])

$$I_{Hm} = \frac{U_M \left(1 - e^{-T/2\tau_n}\right)}{R_H \left(1 + e^{-T/2\tau_n}\right)} = \frac{350 \left(1 - e^{-1,25}\right)}{5 \left(1 + e^{-1,25}\right)} = 70 \cdot \frac{0,713}{1,287} = 38,78 \text{ А}, \quad (1)$$

$$\text{де } T/2\tau_n = \frac{1}{f \cdot 2 \cdot \tau_n} = \frac{1}{0,8} = 1,25.$$

При цьому завжди повинна виконуватись нерівність $I_{Hm} \leq \frac{U_M}{R_H} = \frac{350}{5} = 70 \text{ А}.$

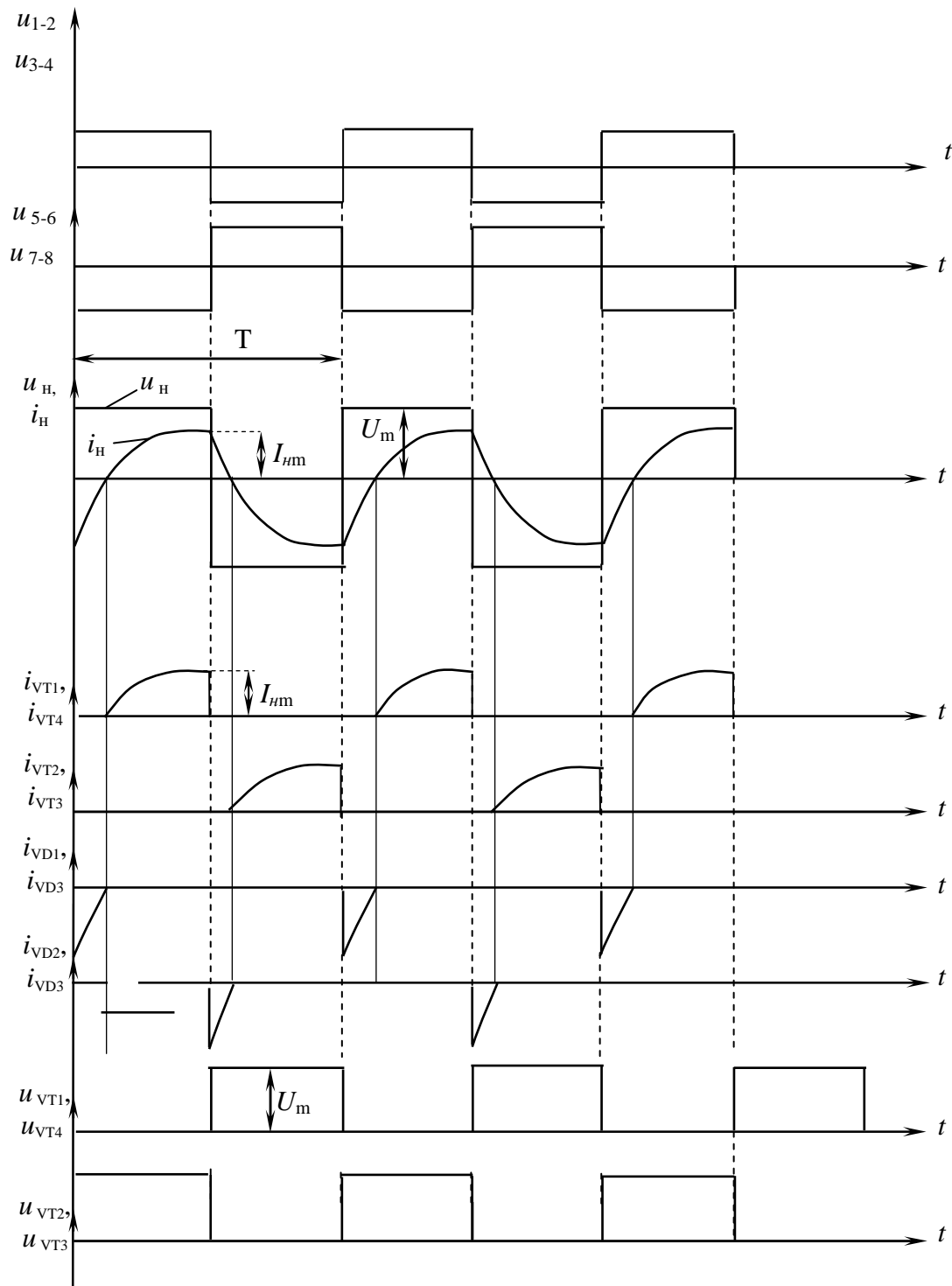


Рис. 2 – Часові діаграми роботи автономного мостового інвертора

Середнє значення струму через транзистор, як видно з рис. 2, знаходиться з виразу

$$I_{\text{сеп1}} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{T/2} i_H(t) dt, \quad (2)$$

$$\text{де } i_H(t) = \frac{U_M}{R_H} \cdot \left[1 - \frac{2e^{-t/\tau_n}}{1 + e^{-T/2\tau_n}} \right].$$

Значення часу t_1 визначається з рівняння

$$i_H(t) = \frac{U_M}{R_H} \cdot \left[1 - \frac{2e^{-t/\tau_n}}{1 + e^{-T/2\tau_n}} \right] = 0. \quad (3)$$

Розв'язавши це рівняння, одержимо

$$t_1 = \tau_n \ln \frac{2}{1 + e^{-T/2\tau_n}} = 0,4T \cdot \ln \frac{2}{1 + e^{-1/0,8}} = 0,4 \cdot \ln \frac{2}{1 + e^{-1,25}} = 0,882 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Тоді

$$I_{\text{сеп1}} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{T/2} \frac{U_M}{R_H} \cdot \left[1 - \frac{2e^{-t/\tau_n}}{1 + e^{-T/2\tau_n}} \right] dt = \frac{U_M}{T \cdot R_H} \left[\left(\frac{T}{2} - t_1 \right) - \frac{2\tau_n \left(e^{-t_1/\tau_n} - e^{-T/2\tau_n} \right)}{1 + e^{-T/2\tau_n}} \right], \quad (4)$$

$$I_{\text{сеп1}} = \frac{350}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 5} \left[\left(\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2} - 0,882 \cdot 10^{-3} \right) - \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \left(e^{-0,882 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^{-3}} - e^{-5 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \right)}{1 + e^{-5 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}} \right] = 7,117 \text{ А,}$$

при цьому завжди $t_1 \leq \frac{T}{4}$.

Аналогічно одержимо вираз для визначення середнього струму через зворотний діод.

$$I_{\text{сеп2}} = -\frac{1}{T} \int_0^{t_1} i_H(t) dt = \frac{U_M}{T \cdot R_H} \cdot \left[\frac{2\tau_n \left(1 - e^{-t_1/\tau_n} \right)}{1 + e^{-T/2\tau_n}} - t_1 \right], \quad (5)$$

$$I_{\text{сеп2}} = \frac{350}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 5} \cdot \left[\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \left(1 - e^{-0,882 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^{-3}} \right)}{1 + e^{-5 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}} - 0,882 \cdot 10^{-3} \right] = 3,175 \text{ А.}$$

Очевидно, значення максимальної напруги на транзисторі дорівнюватиме

$$U_m = U_M = 350 \text{ В.} \quad (6)$$

Вибираємо тип керованого напівпровідникового ключа.

Пропонується виконати цей ключ на основі півмостового напівпровідникового *IGBT*-модуля виробництва «Semicron». Його параметри повинні відповідати наступним вимогам:

$$U_{CE\max} > U_m \cdot K_z, \quad (7)$$

де $K_z = 1,2$ – коефіцієнт запасу,

$$U_m \cdot K_z = 350 \cdot 1,2 = 420 \text{ В},$$

$$I_{k\max} > I_{Hm} \cdot K_z, \quad (8)$$

$$I_{Hm} \cdot K_z = 38,82 \cdot 1,2 = 46,59 \text{ А}.$$

Таблиця 2 – Основні параметри напівпровідникових *IGBT*-модулів виробництва «Semicron»

Тип	$U_{CE\max}$, В	$I_{C\max}$, А	U_{GE} , В	$U_{CE(sat)}$, В	$(E_{ON}+E_{OFF})$, мДж	$R_{th(j-c)}$	Схема вмикання
SK25GB065	600	30	± 15	1,7	1,35	1,4	
SK80GB063	600	45		1,8	2,65	1,0	
SK80GB063	600	54		1,7	1,8	0,85	
SK80GB063	600	80		1,8	4,7	0,6	
SKM75GB066D	600	100		1,8	5,5	0,35	
SK30GB123	1200	33		2,5	6,4	1,0	
SK30GB128	1200	35		1,9	10,4	1,0	
SK40GB123	1200	40		2,5	3,8	0,85	
SK60GB125	1200	51		3,2	8,5	0,6	
SK60GB123	1200	58		2,5	10,0	0,6	
SK60GB128	1200	63		1,8	10,4	0,6	
SKM100GB125DM	1200	100		3,3	12,5	0,18	

З табл. 2, де наведені параметри напівпровідникових *IGBT*-модулів виробництва «Semicron», вибираємо модуль SK80GB063 з наступними параметрами:

- $U_{CE\max} = 600 \text{ В}$,
- $I_{C\max} = 54 \text{ А}$,
- напруга на транзисторі в режимі насичення $U_{CE(sat)} = 1,7 \text{ В}$,
- напруга керування $U_{GE} = \pm 15 \text{ В}$;
- втрати на перемикання $(E_{ON} + E_{OFF}) = 1,8 \text{ мДж}$;
- тепловий опір, який встановився $R_{th(j-c)} = 0,85 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$.

Знаходимо втрати потужності в напівпровідникових ключах та ступінь їхнього перегріву.

Для спрощення цього розрахунку приймаємо величину перехідного теплового опору зворотного діода $R_{\bar{A}} = R_{th(j-\bar{n})}$ і величину прямого падіння напруги на ньому $\Delta U_D = U_{CE(sat)}$.

$$R_D = 0,85 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}, \Delta U_D = U_{CE(sat)} = 1,7 \text{ В.}$$

Повні втрати середньої потужності в напівпровідниковому *IGBT*-модулі визначаються за наступною формулою:

$$P_{пов} = 2 \cdot (P_{CONDVT} + P_{CONDVD} + P_{KOM}), \quad (9)$$

де $P_{CONDVT} = U_{CE(sat)} \cdot I_{cep1}$ – середня потужність, що виділяється на транзисторі при протіканні крізь нього імпульсів струму в тривалому режимі;

$$P_{CONDVT} = U_{CE(sat)} \cdot I_{cep1} = 1,7 \cdot 7,117 = 12,099 \text{ Вт.}$$

$$P_{CONDVD} = U_{CE(sat)} \cdot I_{cep2} \text{ – те ж саме, але для зворотного діода,}$$

$$P_{CONDVD} = U_{CE(sat)} \cdot I_{cep2} = 1,7 \cdot 3,175 = 5,397 \text{ Вт.}$$

$$P_{KOM} = \frac{U_M}{U_{CE\max}} \cdot \frac{I_{Hm}}{I_{C\max}} \cdot [E_{ON} + E_{OFF}] \cdot f \text{ – середня потужність, що виділяється в}$$

транзисторі при його перемиканнях.

$$P_{KOM} = \frac{350}{600} \cdot \frac{38,822}{54} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 0,151 \text{ Вт.}$$

$$P_{пов} = 2 \cdot (12,099 + 5,397 + 0,151) = 35,294 \text{ Вт.}$$

Знаходимо перегрів модуля в розрахованому режимі роботи

$$\Delta T = R_{th(j-c)} \cdot P_{пов} = 0,85 \cdot 35,294 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (10)$$

Тоді максимальна температура напівпровідникової структури складає:

$$T_{\max} = T_C + \Delta T = 40 + 30 \leq 145 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (11)$$

де T_C – температура оточуючого середовища;

$T_{\max\text{ доп}} = 145^\circ\text{C}$ – максимально допустима температура нагріву напівпровідникової структури обраного модуля.

Якщо $T_{\max} > T_{\max\text{ доп}}$, тоді необхідно вибрати модуль на більший струм і повторити розрахунок.

Знаходимо параметри основних елементів схеми керування.

Рекомендовано виконувати мультівібратор схеми керування на базі одноопераційного підсилювача типу 140УД7 (рис. 4.11 [1]) з напругою живлення $\pm 10 \text{ В}$.

Для розрахунку параметрів елементів часозадаючого кола мультівібратора скористаємось наступною відомою формулою (п.п. 5.3.3 [1])

$$T = 2(R_1 + R_2)C_1 \ln\left(1 + 2\frac{R_4}{R_3}\right). \quad (12)$$

Для забезпечення придатної частоти коливань мультівібратора і раціонального використання ємності конденсатора $C1$, а також для спрощення розрахунку рекомендується прийняти у (12) $1 + 2\frac{R_4}{R_3} = e$ ($e = 2,718$), звідки випливає

$T = 2(R_1 + R_2)C_1$, при цьому

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{e-1}{2} = a = 0,859. \quad (13)$$

Для запобігання перевантаження операційного підсилювача приймаємо, що $R_3 + R_4 \cong 50$ кОм. Тоді $R_3 = \frac{50}{1+a} = 26,89$ кОм, $R_4 = 50\frac{a}{1+a} = 23,1$ кОм. Зі стандартних значень опорів резисторів вибираємо $R_3 = 27$ кОм, $R_4 = 24$ кОм.

Змінний резистор $R1$ використовується для регулювання частоти мультівібратора, розходження значень якої обумовлене технологічними відхиленнями параметрів елементів кола, що задає час, від нормованих значень. Доведено практикою, що величину опору резистора $R1$ доцільно обирати виходячи з умови, що $R_1 = 0,3(R_1 + R_2)$. Тоді, якщо приймаємо $R_1 = 30$ кОм, знаходимо $R_2 = 68$ кОм. Виходячи з цього визначається значення ємності конденсатора $C1$.

$$C_1 = \frac{T}{2(R_1 + R_2)} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (30 + 68) \cdot 10^{-3}} = 2,55 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}. \quad (14)$$

Зі стандартних значень ємності вибираємо $C_1 = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ф} = 0,027 \text{ мкФ}$.

Для розрахунку основних параметрів трансформатора скористаємось законом електромагнітної індукції

$$\frac{d\psi}{dt} = -e, \quad (15)$$

де $\psi = B \cdot S \cdot w$ – потокозчеплення;

B – індукція магнітопроводу;

S – площа перерізу магнітопроводу;

w – кількість витків обмотки.

В нашому випадку вираз (15) матиме вигляд

$$\frac{dB}{dt} \cdot w_1 \cdot S = U_{вих} \approx U_{вихОП}, \quad (16)$$

де w_1 – кількість витків первинної обмотки трансформатора;

$U_{вихОП}$ – змінна напруга прямокутної форми на виході мультівібратора.

Інтеграл від (16) буде $w_1 \cdot S \int_{-B_m}^{+B_m} dB = \int_0^{T/2} U_{\omega} dt$, з чого одержимо:

$$w_1 \cdot S = \frac{U_{\omega} \cdot T}{4B_m}, \quad (17)$$

де B_m – максимальне значення робочої індукції магнітопроводу;

U_{ω} – амплітудне значення вхідної напруги.

Очевидно, що найбільш відповідним феромагнітним матеріалом для трансформатора у випадку відносно невисоких частот (менших за 1 кГц) буде холоднокатана сталь з товщиною стрічки 0,1 мм, для якої рекомендовано $B_m = 1,2 Tл = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Вб/см}^2$.

Для економії мідного дроту для обмоток, який має високу вартість, пропонується застосування тороїдальних осердь з такими параметрами:

- 1) $d_n = 40 \text{ мм}$, $d_{вн} = 20 \text{ мм}$, $b = 20$, $S = 1,5 \text{ см}^2$ – для частот (50 – 200) Гц;
- 2) $d_n = 32 \text{ мм}$, $d_{вн} = 20 \text{ мм}$, $b = 16$, $S = 0,95 \text{ см}^2$ – для частот вище 200 Гц.

Вибираємо переріз першого осердя $S = 1,5 \text{ см}^2$. Тоді кількість витків первинної обмотки трансформатора дорівнюватиме

$$w_1 = \frac{U_{\omega} \cdot T}{4B_m \cdot S} = \frac{10 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5} = \frac{10^2 \cdot 5}{4 \cdot 1,2 \cdot 1,5} = 70 \text{ витків.}$$

Оскільки трансформатор працює практично в режимі холостого ходу, то діаметр обмоткового мідного дроту приймаємо мінімальним з огляду на те, щоб його намотування здійснювалось без обривів. У цьому випадку рекомендується застосування дроту марки ПЭЛШО з діаметром $d_{др} = 0,1 \text{ мм}$.

Через те, що для керування транзисторами обраного півмостового модуля потрібна імпульсна напруга $\pm 15 \text{ В}$, то $w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = \frac{U_{GC}}{U_{\omega}} w_1 = 1,5 w_1 = 105 \text{ витків}$.

Електричну принципову схему розрахованого автономного інвертора наведено на рис. 3.

1. 7 Контрольні запитання

1. Вкажіть основні сфери застосування автономних інверторів.
2. Поясніть переваги автономних інверторів, виконаних на повністю керованих напівпровідникових ключах, порівняно з інверторами, виконаними на одноопераційних тиристорах.
3. Поясніть характер змінювання струму в навантаженні при $R_H \neq 0$ і $L_H = 0$ та при $R_H = 0$ і $L_H \neq 0$.
4. Вкажіть, які параметри інвертора є вихідними, а які одержаними за результатами розрахунку.
5. Поясніть процеси, які відбуваються у силових колах мостового інвертора, виконаного на *IGBT*-транзисторах.
6. Поясніть, чим визначаються втрати потужності у півмостовому *IGBT*-модулі при його роботі у тривалому режимі.
7. Поясніть, за якими параметрами вибирають півмостовий модуль для однофазного мостового інвертора.
8. Поясніть, яким чином можна одержати у навантаженні струм синусоїдної форми.

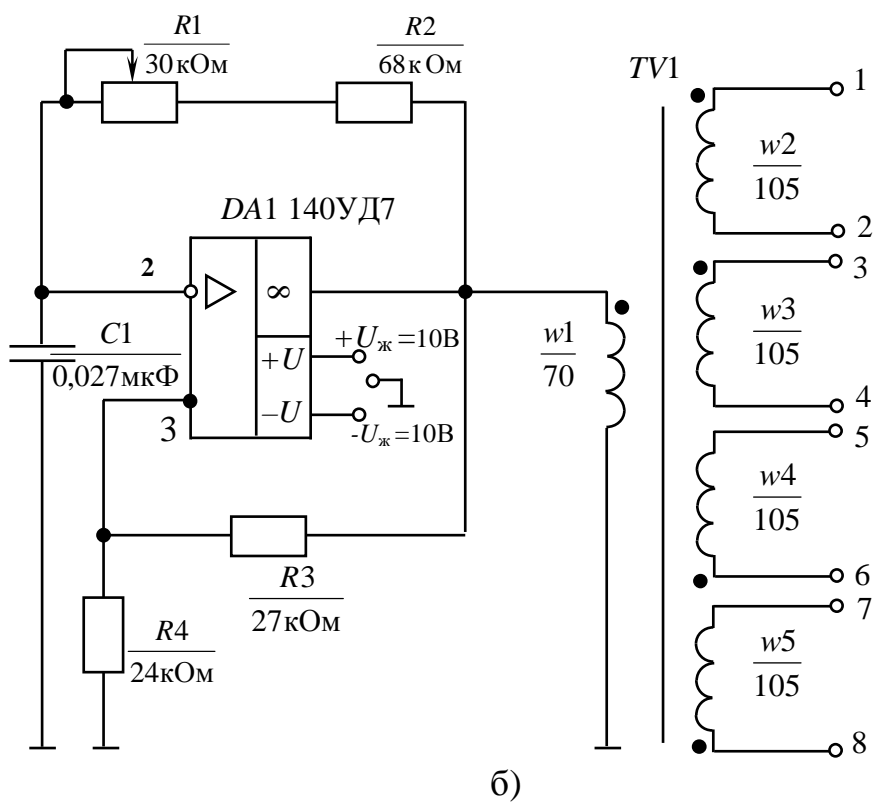
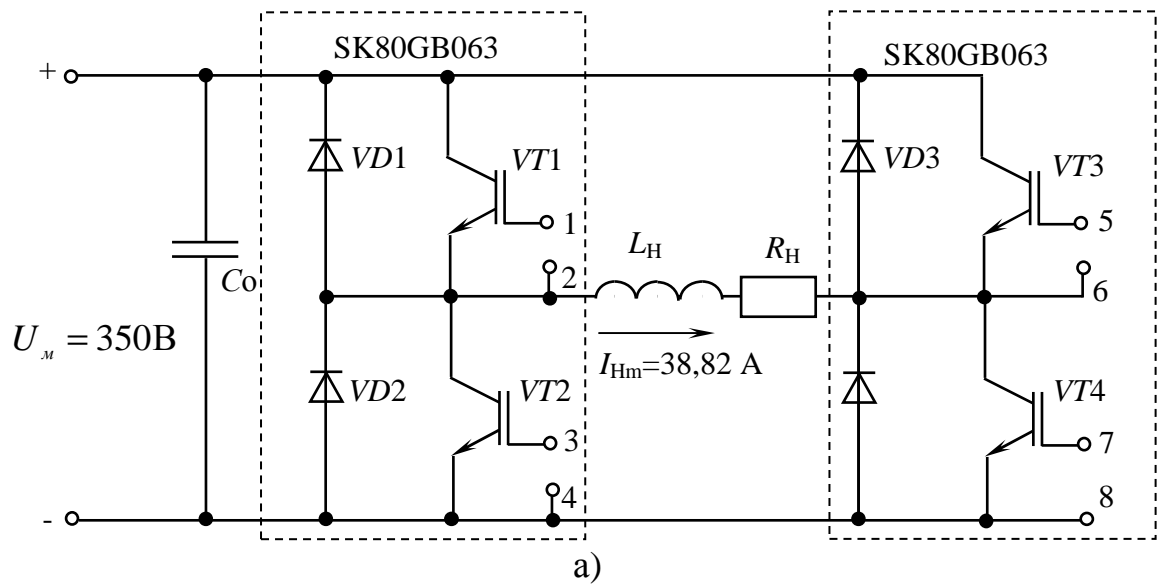


Рис. 3 – Однофазний мостовий інвертор
напруги: силова частина (а), схема керування (б)

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський; К.: Каравела, 2013. – 416 с.
2. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. 2-е вид. / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський; К.: Каравела, 2009. – 416 с.
3. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський; К.: Каравела, 2007. – 384 с.
4. Борисов Ю. М. Электротехника: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю. М. Борисов, Д. Н. Липатов, Ю. Н. Зорин; М.: Энергоатомиздат, 1985. – 552 с.
5. Кучер В. Я. Электротехника и электроника: Учеб. пособие / В. Я. Кучер; СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006 – 62 с.

ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ

Пояснювальна записка – це документ, що вміщує опис будови та принципу дії електронного пристрою, який розроблюється, а також обґрунтування прийнятих при його розробці технічних та техніко-економічних рішень.

Пояснювальна записка містить:

1) **титульний аркуш**, на якому необхідно вказати:

- а) адміністративну приналежність навчального закладу;
 - б) назву навчального закладу (повну та скорочену);
 - в) назву кафедри, що проводить заняття;
 - г) номер варіанта завдання;
 - д) слово “РОЗРАХУНОК”, після якого повинна йти назва електронного пристрою;
 - є) вид документа – “Пояснювальна записка”;
 - ж) номер курсу і групи, прізвище та ініціали виконавця;
 - з) підпис виконавця та дата здачі розрахунку;
 - і) вчене звання (посада), вчений ступінь, прізвище та ініціали викладача;
 - к) назва міста та рік складання документа;
- (приклад виконання титульного аркуша наведено нижче);

2) **вступ**, у якому наводяться стислі загальні відомості про пристрій;

3) власне **розрахунок**, у якому наводяться розрахункові формули з поясненнями змінних, що до них входять, результати обчислень, положення щодо вибору параметрів елементів, режимів роботи та інші дані, які є необхідними для розуміння отриманих результатів;

4) **графічну частину**, до якої входить схема електрична принципова електронного пристрою та, за необхідності, його вузлів, графіки залежностей, що були використані при обчисленнях або є результатами обчислень (схеми необхідно виконувати згідно з вимогами державних стандартів і з застосуванням креслярського знаряддя (рекомендується використання електротехнічного трафарету).

ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО АРКУША:

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

РОЗРАХУНОК
однофазного мостового автономного інвертора напруги

Виконав
студент групи СДС 2010-1
3 курсу

Мовчан А. М.

Перевірив
проф. кафедри ТіЗЕ

Сосков А. Г.

ХАРКІВ – ХНУМГ – 2013

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи за темою
«Розрахунок однофазного мостового автономного інвертора напруги»

з дисциплін

«Промислова електроніка» та «Електроніка і мікросхемотехніка»

(для студентів усіх форм навчання напрямів підготовки
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»,
6.050702 «Електромеханіка»)

Укладачі: **СОСКОВ** Анатолій Георгійович,
САБАЛАЄВА Наталія Олегівна,
КОЛОНТАЄВСЬКИЙ Юрій Павлович.

Відповідальний за випуск: *Н. О. Сабалаєва*

Редактор *О. В. Тарасюк*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2013, поз. 237М

Підп. до друку 11.10.2013 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60 x 84/16
Ум. друк. арк.
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.